

Discriminação espectral de algumas fitofisionomias do Cerrado brasileiro através de dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA

Veraldo Liesenberg¹
Flávio Jorge Ponzoni²
Lênio Soares Galvão²

¹ Bolsista DTI-7F/CNPq; ² Pesquisador Titular
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{vlberg, flavio, lenio}@ltid.inpe.br

Abstract. Images from the MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 8-day composite with 500-m of spatial resolution from TERRA platform, were used to discriminate five Brazilian savanna physiognomies and to analyze their spectral separability through spectral profiles. For discrimination purposes, multiple discriminant analysis was applied in sets of images acquired in four specific dates defined in two distinct seasonal periods (dry and rainy season). The analysis was performed in two steps: a) at each date; b) considering the dates together. Global mapping accuracy and Kappa coefficient values were calculated. The results showed that: (a) the spectral surface reflectance profiles of the physiognomies presented seasonal dynamics as a result of the leaf fall from the rainy to the dry season (strong decrease of both global mapping accuracy and Kappa coefficient) in accordance with the literature; (b) the discrimination between the physiognomies was improved from the rainy to the dry season when single dates were considered, as also confirmed by the inspection of spectral surface reflectance profiles; and (c) the overall classification accuracy significantly improved when the four dates were considered together in the discriminant analysis.

Palavras-chave: discriminação espectral, fitofisionomias, Cerrado, MODIS/TERRA, sazonalidade.

1. Introdução

Diante da necessidade do monitoramento global da vegetação para a compreensão de seu papel nas atuais mudanças climáticas, novos sensores têm sido propostos, desenvolvidos e lançados para adquirir dados com diferentes resoluções temporal, espacial, espectral e radiométrica (Deschamps et al., 1994; Sandmeier e Itten, 1999; Defries e Belward, 2000; Hauteceur e Leroy, 2000). O lançamento da plataforma TERRA em dezembro de 1999, com cinco distintos sensores destinados à previsão de mudanças ambientais naturais ou resultantes de atividades antrópicas, iniciaram uma nova era no sensoriamento remoto da vegetação (King e Greenstone, 1999).

Graças às características espaciais, angulares, radiométricas e temporais dos dados gerados pelos sensores a bordo da plataforma TERRA, diversos modelos climáticos puderam ser aperfeiçoados (Sellers et al. 1996). A identificação, a classificação e o monitoramento dos diferentes biomas, são atividades relevantes por várias razões, especialmente porque constituem uma informação essencial para o estudo dos ciclos geoquímicos globais e do impacto resultante das atividades antrópicas (Vitousek et al. 1997). Além disso, o desenvolvimento de algoritmos para estimar as variáveis biofísicas da superfície a partir de dados orbitais, requer o uso de mapas de vegetação para reduzir as incertezas de modelos climáticos (Knyazikhin et al. 1998a, b; Friedl et al., 2000; Hansen et al., 2000). Entretanto, o mapeamento da vegetação de alguns biomas ainda é considerado um desafio.

O Cerrado Brasileiro possui fitofisionomias que muitas vezes não são facilmente distinguíveis em imagens de satélite, devido em parte às suas características fenológicas e à diversidade fitofisionômica que inclui gradientes desde formações campestres até as fitofisionomias de porte florestal (Ribeiro e Walter, 1998). Atualmente este bioma sofre uma rápida mudança em sua cobertura vegetal em função do crescimento da fronteira agrícola. Isto

tem levado os órgãos ligados ao meio ambiente e a sociedade civil a definir medidas para a sua preservação e conservação.

Dados de sensoriamento remoto em nível orbital surgem como uma boa alternativa para a realização de estudos da cobertura vegetal deste bioma. Nesse sentido, o sensor MODIS (MODerate Imaging Spectroradiometer) (Justice et al., 1998), que é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite TERRA, adquire dados multiespectrais em sete canais destinados à observação da superfície terrestre e seus dados podem oferecer uma excelente oportunidade para avaliar o uso potencial de dados multitemporais na discriminação das diferentes fitofisionomias do Cerrado Brasileiro.

Este trabalho apresenta alguns resultados preliminares de uma investigação em andamento sobre a discriminação de diferentes fitofisionomias do Cerrado, em uma área de estudo localizada próxima às divisas dos Estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás. As acurácias de classificação e os coeficientes Kappa são apresentados para cada período de aquisição (estações seca e chuvosa).

2. Área de Estudo

A área de estudo está localizada no noroeste do Estado de Minas Gerais (MG) e sudoeste da Bahia (BA), próximo à divisa do Estado de Goiás (GO). A **Figura 1** mostra a localização da área de estudo no contexto nacional.

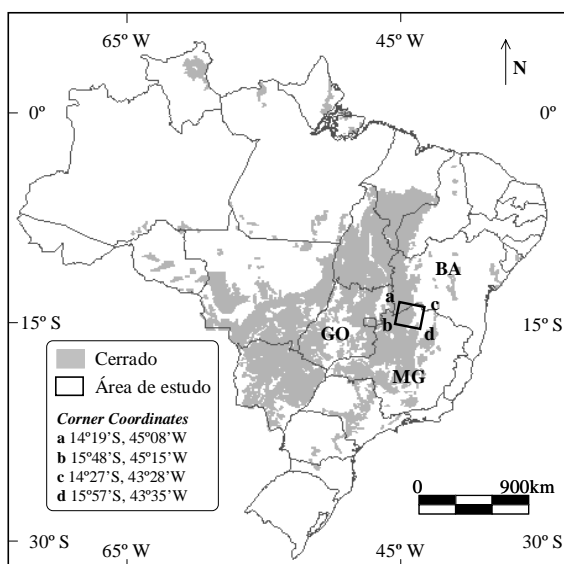


Figura 1. Localização da área de estudo dentro do contexto nacional. A delimitação do bioma Cerrado também é apresentada.

Em relação à cobertura vegetal, há cinco fitofisionomias predominantes. De acordo com o sistema brasileiro de classificação da vegetação (IBGE, 1992), as fitofisionomias são Floresta Estacional semi-decídua, Floresta Estacional decídua, Floresta Pluvial, Savana Arborizada e Savana Parque. Segundo o sistema de classificação do Cerrado proposto por Ribeiro e Walter (1998), as fitofisionomias Floresta Estacional decídua, Savana Arbórea e Savana Parque são equivalentes na área de estudo à Mata Seca, ao Cerrado stricto sensu, e ao Cerrado ralo, respectivamente.

A deciduidade na estação seca varia de 20% a 50% para a Floresta Estacional semi-decídua, e é maior do que 50% para a Floresta Estacional decídua. A Floresta Pluvial ocorre

em áreas próximas ao rio São Francisco e abrange uma variedade de tipologias. As fisionomias Savana Arbórea e Savana Parque apresentam pequenas palmeiras, arbustos retorcidos e inclinados sobre um substrato de gramíneas, enquanto que a Savana Arbórea mostra um estrato arbóreo dominante e um maior percentual de cobertura de copas do que a Savana Parque.

Para melhor demonstrar as diferenças biofísicas entre as fitofisionomias em questão, a **Tabela 1** apresenta os dados do produto *Vegetation Continuous Field* (Hansen et al., 2002) que foi obtido através de processamentos de dados do sensor MODIS durante o período de Novembro a Dezembro do ano de 2001 (início da estação chuvosa). De acordo com os resultados apresentados neste quadro, o percentual de cobertura de dosséis decresce em ordem da Floresta Estacional decídua e semi-decídua para Savana Arbórea, Floresta Pluvial e Savana Parque. A fisionomia Savana Parque apresentou a maior proporção de cobertura herbácea, enquanto que a Savana Arbórea e a Savana Parque apresentaram reduzidas proporções de solo exposto. Uma descrição mais detalhada da área de estudo e das fitofisionomias em análise pode ser encontrada em Liesenberg (2005).

Tabela 1. Valores de Cobertura do Solo (%) obtidos a partir do produto *Vegetation Continuous Field* (Hansen et. al., 2002).

Percentual de Cobertura	FITOFISIONOMIAS				
	FESD	FED	SA	SP	FP
Arbórea	55,62±10,28	50,70±11,01	39,60±10,37	25,20±9,56	36,85±13,13
Herbácea	44,36±10,26	49,3±11	59,70±10,08	71,66±7,29	63,15±13,13
Solo exposto	-	-	0,7±0,85	3,13±3,87	-

Nota: FESD = Floresta Estacional semi-decídua; FED = Floresta Estacional decídua; SA = Savanna Arbórea; SP= Savanna Parque; e FP = Floresta Pluvial.

O clima da região é caracterizado por uma estação chuvosa bem definida, ocorrendo entre os meses de Novembro a Abril e estação seca ocorrendo entre Maio e Outubro. A **Figura 2** mostra a média mensal pluviométrica da área de estudo baseada em oito estações pluviométricas, considerando uma média histórica de 30 anos e durante o período de aquisição dos dados orbitais sob análise. De acordo com esta figura, pode-se observar que, em geral, a média anual de precipitação é de 925mm, e um percentual superior a 85% concentra-se na estação chuvosa. Percebe-se também que o ano de 2004 foi atípico em relação à média histórica de 30 anos, em que a precipitação foi menor de Janeiro a Março e maior de Setembro a Dezembro.

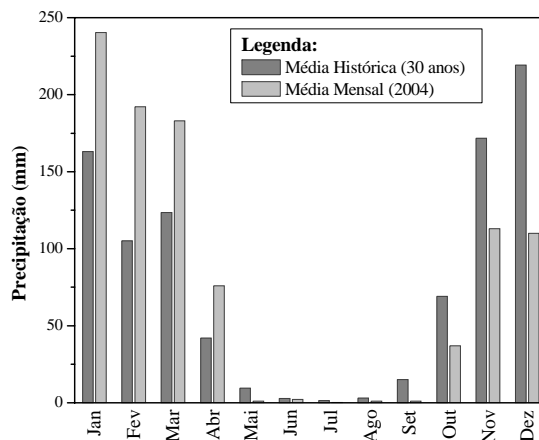


Figura 2. Precipitação média mensal e média histórica de 30 anos.

3. Métodos

Durante o ciclo sazonal de Dezembro de 2003 a Outubro de 2004, foi selecionado um conjunto de quatro imagens do produto de composição de 8 dias do sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA. As imagens compreendem as datas de aquisição em 11 de Dezembro de 2003, 30 de Abril, 25 de Junho e 15 de Outubro de 2004, respectivamente.

O produto de composição de 8 dias (MOD09A1) utilizado possui resolução espacial de 500m, em sete bandas espectrais radiometricamente calibradas, georeferenciadas e espacialmente co-registradas nas bandas espectrais do azul (459-479nm), do verde (545-565nm), do vermelho (620-670nm), do infravermelho próximo (841-876nm; 1230-1250nm) e de ondas curtas (1628-1652nm; 2105-2155nm), respectivamente.

O algoritmo usado para gerar os produtos de composição de 8 dias opera com uma base de pixels e requer múltiplas observações do produto reflectância de superfície (Fator de Reflectância Bidirecional - MOD09GHK). O algoritmo destinado à sua composição opera em uma concepção semelhante aos produtos de composição de 16 dias (MOD13A1), e este produto serve como parâmetro-chave para a determinação de inúmeros outros produtos adicionais (Huete et al., 1999).

Um conjunto comum de pixels foi selecionado no produto composição de 8 dias em cada data analisada e em áreas homogêneas e representativas das cinco fitofisionomias. Esta seleção foi baseada na análise de mapas de vegetação (IBGE, 2004) e na execução de campanhas de campo para a caracterização e para a seleção de áreas representativas de cada fitofisionomia estudada.

Para cada fitofisionomia, 60 pixels foram selecionados e considerados para cada uma das quatro datas em análise, dos quais, 20 pixels foram sorteados aleatoriamente para fins de validação. Os valores médios da reflectância de superfície (já corrigidos em relação aos efeitos da atmosfera) foram extraídos para posteriores tratamentos estatísticos. Perfis espectrais de diferentes datas e representando condições extremas de sazonalidade também foram plotados em função do comprimento de onda.

Visando discriminar as cinco fitofisionomias, a análise discriminante múltipla foi utilizada, considerando os valores de reflectância das bandas como variáveis discriminatórias. A análise foi conduzida em duas etapas: a) discriminação por data; e b) considerando todas as datas. Um procedimento passo-a-passo, que procura maximizar a Distância Mahalanobis foi utilizada para selecionar um subconjunto de variáveis e produzir uma função discriminante adequada. Valores de probabilidade de F foram usados como critério para a inclusão (0,05) e remoção (0,10) das variáveis. Na última etapa do trabalho, a Exatidão Global e o coeficiente Kappa para os conjuntos de dados de validação foram determinados.

4. Resultados e Discussões

A **Figura 3** mostra o desempenho discriminatório em cada data analisada e considerando todas as datas em conjunto através do cálculo da Exatidão Global e do coeficiente Kappa. De acordo com esta figura, a função discriminante mostrou que para as fitofisionomias em análise, um gradiente foi observado em relação à sazonalidade com melhores resultados de exatidão e de coeficiente Kappa no pico da estação seca (outubro). Por outro lado, quando todas as datas foram analisadas em conjunto, observou-se uma melhoria dos resultados mostrando que a componente temporal também é importante para a discriminação de fitofisionomias do bioma Cerrado.

Em respeito à análise de datas individuais, do final da estação chuvosa (Dezembro/2003) para a estação seca (Outubro/2004), um sensível acréscimo nos índices foram observados. Para o caso particular da exatidão global, valores de 71, 73, 79 e 81% foram observados para

as imagens coletadas em Dezembro de 2003 (início da estação chuvosa), Abril (fim da estação chuvosa), Junho (estação seca) e Outubro de 2004 (final da estação seca), respectivamente.

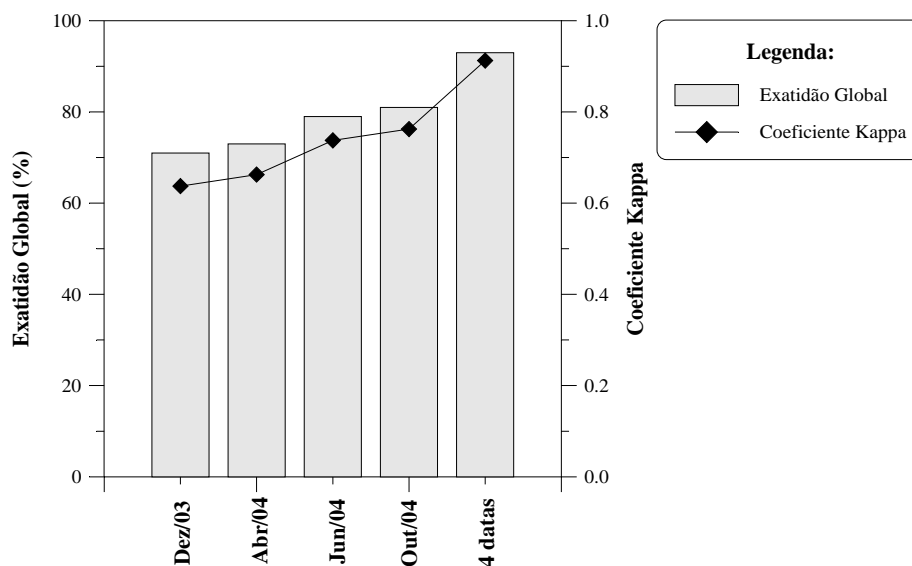


Figura 3. Desempenho discriminatório da Exatidão Global e do Coeficiente Kappa para cada data e para as quatro datas analisadas em conjunto.

Para algumas fitofisionomias, esta tendência está associada à perda de folhas na estação seca, o que traz um maior contraste entre as fitofisionomias em comparação à estação chuvosa. De acordo com resultados apresentados na **Figura 3**, a discriminação entre as fitofisionomias é facilitada no final da estação seca pela análise particular de uma única data de aquisição (na presente situação, o período de 8 dias). Entretanto, pela análise integrada de todas as datas de aquisição, a função gerada apresentou uma exatidão global de 93% contra 81% para a imagem de Outubro (melhor situação individual) e 71% para a imagem de Dezembro (pior situação). Para confirmar esta tendência sazonal, os perfis espectrais de reflectância de superfície (Fator de Reflectância Bidirecional) serão apresentados.

A **Figura 4** mostra as variações sazonais da reflectância de superfície em sete bandas espectrais do sensor MODIS em duas situações extremas de sazonalidade: (a) dia Juliano 121 (30 de Abril); e (b) 289 (15 de Outubro). Para facilitar a representação gráfica, os desvios-padrões não foram considerados para confecção dos presentes gráficos.

De acordo com os espectros apresentados na **Figura 4**, da estação seca (**Figura 4b**) para a estação chuvosa (**Figura 4a**), observa-se redução da reflectância no vermelho (absorção por clorofila), aumento da reflectância no infravermelho próximo (espalhamento da radiação pela estrutura interna das folhas e componentes do dossel) e diminuição da reflectância no infravermelho de ondas curtas (absorção da radiação pela umidade das folhas). A discriminação espectral entre as diferentes fitofisionomias é facilitada no final da estação seca (**Figura 4b**), em relação à estação chuvosa (**Figura 4a**) em função de maior separabilidade entre as curvas.

Os resultados apresentados neste trabalho confirmaram o aumento gradual nos valores de exatidão global e do coeficiente Kappa encontrados da estação chuvosa para a seca, período em que máxima discriminação entre as fitofisionomias foi observada. Esses resultados corroboram com trabalhos prévios desenvolvidos por Ferreira e Huete (2004), Ratana et al. (2005), Sano et al. (2005) e Liesenberg et al. (2006). De uma maneira geral, estes autores

concluíram que no final da estação seca, a discriminação entre as fitofisionomias do bioma Cerrado foi maximizada.

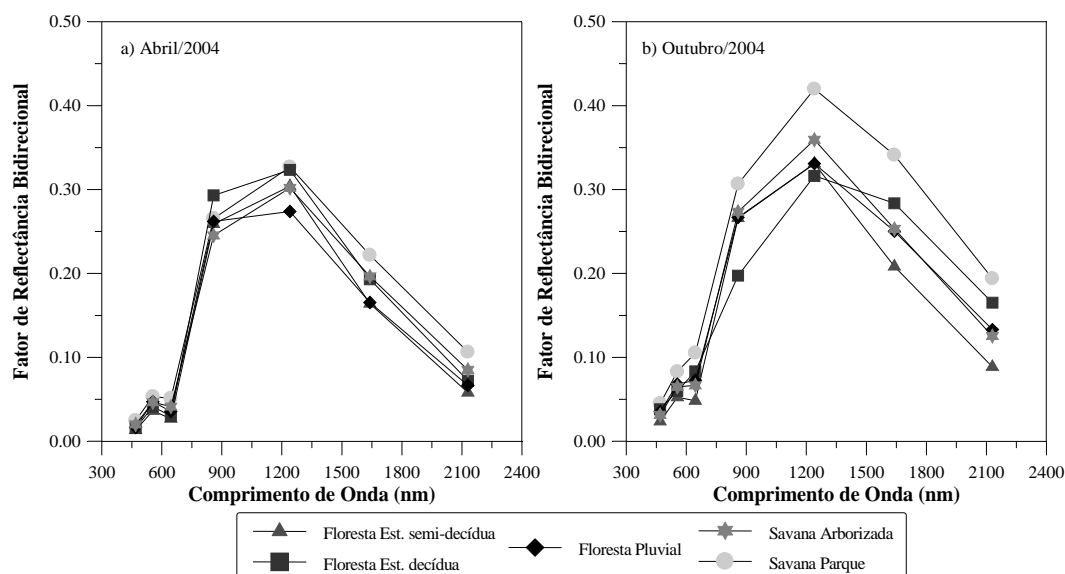


Figura 4. Fator de Reflectância Bidirecional (FRB) de cinco fitofisionomias. Médias calculadas a partir de 60 pixels para cada classe são indicadas. Os dados foram adquiridos em: (a) dia Juliano 121 (30 de Abril); e (b) 289 (15 de Outubro). Os símbolos indicam o centro das bandas espectrais do sensor MODIS.

5. Conclusões

- (1) Conforme preconizado na literatura, as cinco fitofisionomias estudadas mostraram perfis de reflectância consistentes com a dinâmica sazonal da vegetação em relação a precipitação;
- (2) Com relação à análise discriminante para uma única data de aquisição, a discriminação espectral com base nos valores de exatidão global e do coeficiente Kappa melhorou da estação chuvosa para a seca, período em que se verificou a máxima separabilidade espectral; e
- (3) A respeito da abordagem da análise discriminante considerando todas as datas analisadas, uma sensível melhora nos valores de exatidão global e do coeficiente Kappa foi observada em relação a abordagem individual de composições de 8 dias do sensor MODIS.

6. Agradecimentos

Os autores são gratos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento do trabalho. Agradecimentos também são endereçados ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) pela autorização dos estudos em campo, à Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilização dos dados pluviométricos, e a NASA *Distributed Active Archive Center* (DAAC) pelo fornecimento dos dados do sensor MODIS.

Referências

Defries, R.S.; Belward, A.S. Global and regional land cover characterization from satellite data: an introduction to the Special Issue. *International Journal of Remote Sensing*, v.21, n.6, p.1083-1092, 2000.

Deschamps, P.Y.; Brèon, F. M.; Leroy, M.; Podairre, A. Bricaud, A. Buriez, J. C. Seze, G. The POLDER Mission: Instrument characteristics and Scientific objectives. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.32, n.3, p.598-615, 1994.

Ferreira, L.G.; Huete, A.R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1837-1860, 2004.

Friedl, M. A.; Muchoney, D.; McIver, D.; Gao, F.; Hodges, J. C. F.; Strahler, A. H. Characterization of North American land cover from NOAA-AVHRR data using the EOS MODIS land cover classification algorithm. **Geophysical Research Letters**, v.27, n.7, p.977-989, 2000.

Hansen, M. C.; DeFries, R. S.; Townshend, J. R. G.; Sohlberg, R. Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, n.15, p.1331-1364, 2000.

Hansen, M.C.; DeFries, R.S.; Townshend, J.R.G.; Marufu, L.; Sohlberg, R. Development of a MODIS tree cover validation data set for Western Province, Zambia. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 320-335, 2002.

Huete, A.R.; Justice, C.; van Leeuwen, W. **MODIS vegetation Index (MOD13)**. Algorithm Theoretical Basis Document, v. 3, NASA EOS Doc., 142 p., 1999. Disponível em [http://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdfs/atbd_mod13.pdf].

Hautecoeur, O.; Leroy, M. An accuracy assessment experiment of the BRDF measured at coarse spatial resolution from space. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n.15, p.2957-2963, 2000.

IBGE. **Manual técnico da vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992, 92p.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

Justice, C.O.; Vermote, E.; Townshend, J.R.G.; DeFries, R.; Roy, D.P.; Halt, D.K.; Salomonson, V.V.; Privete, J.L.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, W.; Myneni, R.B.; Knyazikhin, Y.; Running, S.W.; Nemani, R.R.; Zhengming W.; Huete, A.R.; van Leeuwen, W.; Wolfe, R.E.; Giglio, L.; Muller, J.; Lewis, P.; Bransley, M.J. The Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global research. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1249, 1998.

King, M.D.; Greenstone, R. **EOS Reference Handbook**: Rep. NASA Goddard Space Flight Center, USA: Greenbelt, 1999. 361p.

Knyazikhin, Y.; Martonchik, J.V.; Diner, D.J.; Myneni, R.B.; Verstraete, M.M.; Pinty, B.; Gobron, N. Estimation of vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from atmosphere corrected MISR data. **Journal of Geophysical Research**, v.103, n.32, p. 239-256. 1998a.

Knyazikhin, Y.; Martonchik, J.V.; Myneni, R.B.; Diner, D.J.; Running, S. Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data. **Journal of Geophysical Research**, v.103, n.32, p. 257-275. 1998b.

Liesenber, V. **Análise multiangular de fitofisionomias do bioma Cerrado com dados do sensor MISR/EOS-AM1 (TERRA)**. 2005. 120p. (INPE-13727-TDI/1049) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.

Liesenber, V.; Galvão, L.S.; Ponzoni, F.J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/Terra data. **Remote Sensing of Environment**, aceito para publicação, 2006.

Ratana, P.; Huete, A.R.; Ferreira, L.G. Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal-temporal domain. **Earth Interactions**, v. 9, n. 3, p. 1-22, 2005.

Ribeiro, J.F.; Walter, T.M.B. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S.M; Almeida, S.P. (Eds.). **Cerrado: Ambiente e Flora**. Brasília: Embrapa, p. 89-152, 1998.

Sandmeier, S.R.; Itten, K.I. A field Goniometer System (FIGOS) for acquisition of Hyperspectral BRDF data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.37, n.2, p.978-986, 1999.

Sano, E.E.; Ferreira, L.G.; Huete, A.R. Synthetic Aperture Radar (L-band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. **Earth Interactions**, v. 9, n. 15, p. 1-15, 2005.

Sellers, P.J.; Randall, D.A.; Collatz, G.J.; Berry, J.A.; Field, C.B.; Dazlich, D.A., Zhang, C., Collelo, G.D.; Bounoua, L. A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs. Part I: Model Formulation. **Journal of Climate**, v.9, n.4, p.676-705, 1996.

Vitousek, P. M.; Mooney, H. A.; Lubchenco, J.; Melillo, J.M. Human Domination of Earth's Ecosystems. **Science**, v.277, n.5325, p.494-499, 1997.